



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

EVALUACIÓN DE MORTEROS PARA ALBAÑILERÍA Y REVESTIMIENTOS ELABORADOS A BASE DE CEMENTOS MEZCLADOS CON ESCORÍAS DE HORNO

Kenneth Alejandro Molina Escobar

Asesorado por el Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus

Guatemala, agosto de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE MORTEROS PARA ALBAÑILERÍA Y
REVESTIMIENTOS ELABORADOS A BASE DE CEMENTOS
MEZCLADOS CON ESCORÍAS DE HORNO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

KENNETH ALEJANDRO MOLINA ESCOBAR

ASESORADO POR EL ING. SERGIO VINICIO CASTAÑEDA LEMUS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympos Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

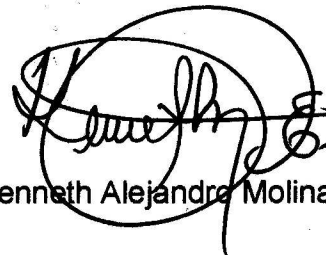
DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADORA	Inga. Carmen Marina Mérida Alba
EXAMINADOR	Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

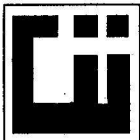
Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DE MORTEROS PARA ALBAÑILERÍA Y REVESTIMIENTOS
ELABORADOS A BASE DE CEMENTOS MEZCLADOS CON ESCORIAS DE
HORNO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
el 1 de junio de 2004.



Kenneth Alejandro Molina Escobar



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala 22 de mayo de 2006

Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
Coordinador del área de materiales
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Quiñónez de la Cruz:

Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado "Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escorias de horno", elaborado por el estudiante universitario **Kenneth Alejandro Molina Escobar**, quien contó con mi asesoría.

Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante **Molina Escobar**, satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención a la presente.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus
Asesor Trabajo de Graduación



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 24 de mayo de 2006

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Escobar Álvarez.

Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **EVALUACIÓN DE MORTEROS PARA ALBAÑILERÍA Y REVESTIMIENTOS ELABORADOS A BASE DE CEMENTOS MEZCLADOS CON ESCORIAS DE HORNO**, elaborado por el estudiante universitario **Kenneth Alejandro Molina Escobar**, quien contó con la asesoría del Ingeniero Sergio Vinicio Castañeda Lemus.

Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante **Molina Escobar**, satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles





FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Kenneth Alejandro Molina Escobar, titulado **EVALUACIÓN DE MORTEROS PARA ALBAÑILERÍA Y REVESTIMIENTOS ELABORADOS A BASE DE CEMENTOS MEZCLADOS CON ESCORIAS DE HORNO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez



Guatemala, agosto 2006.

/bbdeb.

"TODO POR TI CAROLINGA MÍA"
Dr. Carlos Martínez Durán, 2006 aniversario de su nacimiento

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG. 266-2006.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE MORTEROS PARA ALBAÑILERÍA Y REVESTIMIENTOS ELABORADOS A BASE DE CEMENTOS MEZCLADOS CON ESCORIAS DE HORNO**, presentado por el estudiante universitario **Kenneth Alejandro Molina Escobar**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, agosto 3 de 2,006



/gdech

Todo por ti, Querrelingia Mía
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su Nacimiento

DEDICATORIA A:

DIOS

Mis Padres Tony y Mary

Por todo su apoyo y paciencia.

Geoffrey y Vanessa

Por su cariño.

Mi Familia

En especial a las familias **Molina Molina, Molina Dardon, Rizo Sandoval, Rizo Castañeda y Escobar Mena.**

Ana Paula, Fabio y Rodrigo.

Muy especialmente.

**Escuela de Ingeniería Civil y
Facultad de Ingeniería.**

AGRADECIMIENTOS A:

**Jose, Guillermo, Marlon, Silvio,
Gerardo, Paulo, Dennis, Carlos,
David, José Miguel, Armando,
Castulo y Sandra.**

Por todo su apoyo y amistad.

Sergio Castañeda

Por su asesoría.

Siderurgicas de Guatemala

Por el gran apoyo en la realización de este trabajo.

**Cementos Progreso, S.A.,
Megaproductos y Cementos Tolteca**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. MORTEROS	
1.1 Definición	1
1.2 Tipos y usos de morteros	2
1.2.1 Morteros calcáreos	2
1.2.2 Morteros de cemento Pórtland y cal	3
1.2.3 Morteros de cemento	5
1.3 Propiedades de los morteros	7
1.3.1 Propiedades en estado plástico	7
1.3.1.1 Manejabilidad	7
1.3.1.2 Retención de agua	7
1.3.1.3 Velocidad de endurecimiento	8
1.3.2 Propiedades en estado endurecido	8
1.3.2.1 Retracción	8
1.3.2.2 Adherencia	9
1.3.2.3 Resistencia a la compresión	10
1.3.2.4 Durabilidad	11
1.3.2.5 Permeabilidad	11
1.3.2.6 Eflorescencia	11

1.3.2.7	Apariencia	12
1.4	Composición de los morteros	12
1.4.1	Cemento	12
1.4.1.1	Cemento Pórtland	12
1.4.1.2	Cementos hidráulicos mezclados	13
1.4.1.3	Cementos de mampostería	14
1.4.2	Cal	15
1.4.2.1	Propiedades físicas	16
1.4.3	Agregados	16
1.4.3.1	Tipos	17
1.4.3.2	Propiedades	17
1.4.4	Agua	18
1.4.4.1	Agua de mezclado	19
1.4.4.2	Agua de curado	19
1.4.5	Aditivos	19
2	ESCORIAS DE HORNOS DE SIDERURGICA DE GUATEMALA	
2.1	Definición de escorias	21
2.2	Tipos	21
2.3	Caracterización de la escoria de hornos de SIDEGUA	22
3	DESARROLLO EXPERIMENTAL	
3.1	Muestreo	25
3.2	Proporciones de cementos mezclados	25
3.3	Fabricación de los cementos mezclados	25
3.4	Caracterización de cementos mezclados	26
3.4.1	Parámetros químicos	26
3.4.2	Parámetros físico-mecánicos	27

3.5	Caracterización de morteros	28
3.6	Aplicaciones de los morteros	30
3.6.1	Mortero de albañilería	30
3.6.1.1	Ensayo prismas a compresión	31
3.6.1.2	Ensayo prismas a corte	33
3.6.1.3	Ensayo prismas adherencia y fricción	33
3.6.2	Mortero de revestimiento	35
4.	RESULTADOS	
4.1	Cementos mezclados	37
4.1.1	Análisis químico	37
4.1.2	Análisis físico-mecánico	38
4.2	Morteros	39
4.3	Aplicaciones de morteros	39
4.3.1	Mortero de albañilería	39
4.3.2	Mortero de revestimiento	41
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	
5.1	Cementos mezclados	43
5.2	Morteros	44
5.2.1	Mortero de albañilería	44
5.2.2	Mortero de revestimiento	44
	CONCLUSIONES	47
	RECOMENDACIONES	49
	BIBLIOGRAFÍA	51
	ANEXO	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Prisma ensayos a compresión y corte	30
2.	Prisma ensayo adherencia y fricción	31
3.	Ensayo prismas a compresión	32
4.	Ensayo prismas a corte	33
5.	Ensayo prismas adherencia y fricción	34
6.	Falla prisma a compresión	38
7.	Falla prisma a corte	38
8.	Falla prisma adherencia y fricción	39
9.	Aplicación de mortero de revestimiento, acabado vertical	40
10.	Aplicación de mortero de revestimiento, acabado remolineado	40

TABLAS

I.	Requerimientos para especificación por proporciones	4
II.	Pesos de materiales para morteros	4
III.	Requerimientos para especificación por propiedades	5
IV.	Usos de los morteros de cementos	6
V.	Requisitos físicos de cementos de mampostería	15
VI.	Tipos de aditivos químicos según la norma ASTM C-494	20
VII.	Composición química de la escoria	23
VIII.	Proporción de morteros	29
IX.	Análisis químico de cementos mezclados	35
X.	Análisis físico-mecánico de cementos mezclados	36
XI.	Caracterización de morteros	37
XII.	Aplicaciones mortero de albañilería	37

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
%	Porcentaje
Pág.	Página
kg/cm ²	Kilogramos por centímetro cuadrado
h	Hora
m ² /kg	Metro cuadrado por kilogramo
kg/m ³	Kilogramo por metro cúbico
Ton/mes	Tonelada por mes
CM 30-70	Cemento mezclado (30% Cemento Pórtland y 70% escoria de horno)
CM 70-30	Cemento mezclado (70% Cemento Pórtland y 30% escoria de horno)
in, pl	Pulgada
mm	Milímetro
µm	Micrómetro
S.A.	Sociedad Anónima
m	Metro
cm	Centímetro
No.	Número
f'p	Esfuerzo de compresión en prismas
F	Carga de compresión
Ab	Área bruta
Fd	Carga de corte
Fc, X	Carga de confinamiento

Fh	Carga lateral
a₀	Fuerza de adherencia
a₁	Coefficiente de fricción
Σ	Sumatoria
Y	Carga lateral, Fh
N	Número de datos
cm²/g	Centímetro cuadrado por gramo
cm	Centímetro
min	Minuto
Ref.	Referencia
Ltda.	Limitada

GLOSARIO

ACI	<i>American Concrete Institute</i> (Instituto Americano del Concreto)
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales)
Bloques de concreto	Elementos huecos que se emplean apilados, ensamblados o unidos para construir muros.
Cementos hidráulicos mezclados	Cementos a base de cemento Pórtland y una proporción de otro material cementante.
Escorias de hornos	Subproducto que procede de la fundición de acero en hornos de arco eléctrico o altos hornos.
Mampostería	Sistema constructivo tradicional, compuesto por elementos apilados, unidos con un mortero u otro material similar.
Mortero	Mezcla de un material aglomerante, un material de relleno, agua y aditivos.

**Mortero de
albañilería**

Mortero utilizado para unir elementos de mampostería unos con otros.

**Mortero de
revestimiento**

Mortero utilizado para proteger o dar una apariencia especial a un muro de mampostería

PCA

Portland Cement Association (Asociación del Cemento Pórtland)

Prismas

Elementos de mampostería contruidos con bloques de concreto que simulan secciones de muros.

RESUMEN

Este trabajo da seguimiento a la línea de investigación del Centro de Investigaciones de Ingeniería, sobre las Escorias de Hornos generadas en la planta SIDEGUA, ubicada en el municipio de Masagua, departamento de Escuintla, partiendo de los resultados obtenidos por el Ing. Edgar Solórzano en su trabajo de graduación **“Caracterización de la escoria de hornos de la Planta SIDEGUA como puzolana artificial”**.

Se fabricaron y caracterizaron bajo especificaciones de la norma **ASTM C-595** dos cementos mezclados con escoria de hornos, seleccionando aquel que obtuvo mejores resultados y con este elaborar morteros de albañilería y revestimiento.

Con el mortero de albañilería se fabricaron prismas que luego fueron ensayados para evaluar su comportamiento a compresión, corte, fricción y adherencia. Por su lado el mortero de revestimiento fue aplicado a un muro de mampostería tradicional ubicado a la intemperie evaluándose su adherencia, apariencia, resistencia a la compresión y tensión.

Los resultados obtenidos permiten clasificar tanto, a los Cementos Mezclados como a los morteros evaluados, según normas **ASTM** aplicables al caso.

OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar morteros de albañilería y revestimiento, elaborados con cementos mezclados (cemento Pórtland y escoria), en proporciones definidas.

ESPECÍFICOS

1. Presentar alternativas de reutilización para la escoria de horno generada en la Planta Escuintla, de Siderurgica de Guatemala.
2. Producir y evaluar dos cementos mezclados (cemento Pórtland y escoria) en proporciones definidas.
3. Clasificar los cementos mezclados, según la norma **ASTM C-91**
4. Producir y evaluar dos morteros fabricados a base de cemento mezclado en proporciones definidas.
5. Clasificar los morteros elaborados con cementos mezclados en proporciones definidas, según la norma **ASTM C-270**

INTRODUCCIÓN

Todo proceso de transformación de materia prima, deriva en la generación de subproductos, que salvo pocas excepciones no se destinan a algún uso en particular. Uno de estos es la escoria de hornos, que en países con gran producción de aceros, la industria de la construcción la aprovecha como una puzolana artificial en la fabricación de cementos mezclados.

En nuestro país Siderurgica de Guatemala (SIDEGUA) es una empresa dedicada a la producción de acero, proceso en el cual se generan cuatro tipos de escoria las cuales fueron caracterizadas como puzolanas artificiales, en el trabajo de Graduación del Ing. Edgar Solórzano **“Caracterización de la escoria de hornos de la Planta SIDEGUA como puzolana artificial”**, con el fin de presentar alternativas de reutilización. Tomando las recomendaciones de dicha investigación, se evaluó la escoria con mejores resultados, elaborando cementos mezclados (cemento Pórtland y escoria) en proporciones definidas con los cuales se hicieron morteros de acuerdo a las normas **ASTM** aplicables al caso.

Esta investigación es producto del compromiso que SIDEGUA y el Centro de Investigaciones de Ingeniería, tienen con la sociedad guatemalteca, a través de su apoyo a la Investigación.

1. MORTEROS

Las primeras estructuras de mampostería fueron construidas con piedra y morteros de barro; más tarde vinieron los morteros de arcilla y luego se descubrió que la cal producía un excelente aglomerante. El mortero de cal y arena fue usado en la construcción de mampostería hasta poco antes de la aparición del cemento Pórtland a mediados del siglo XIX.

El mortero ocupa entre el 10 y 20 % del volumen total de material de una pared de mampostería, sin embargo su efecto en el comportamiento de esta es mucho mayor que lo que indica este porcentaje. Estéticamente, puede añadir un colorido adicional o un acabado muy particular a las paredes. Funcionalmente, el mortero liga las unidades de mampostería y sirve de sello para impedir la penetración de aire, agua y vectores.¹

Además, se adhiere al refuerzo de las juntas, a las amarras metálicas y a los pernos anclados de tal modo que hace que actúen conjuntamente. Para la construcción y aplicaciones de cargas, el comportamiento del mortero incide tanto como la resistencia de las piezas de mampostería y la mano de obra.

1.1 Definición

Pueden definirse como la mezcla de material aglomerante (cemento Pórtland y/u otros cementantes), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente aditivos, con propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto y son ampliamente utilizados para pegar piezas de mampostería en la construcción de

¹ Sánchez de Guzmán, **Morteros. Tecnología del mortero y del concreto** (Bhandar Editores Ltda., Bogotá Colombia)

muros, o para recubrirlos, en cuyo caso se le conoce como recubrimiento, repello o revestimiento².

1.2 Tipos y usos

Dentro de los morteros se pueden distinguir dos familias:

- ✓ Los aéreos, que endurecen bajo la influencia del aire al perder agua y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación.
- ✓ Los hidráulicos que endurecen bajo efecto del agua, ya que poseen en su composición elementos que se obtienen por calcinación de calizas impurificadas con sílice y alúmina que les permiten desarrollar resistencias iniciales relativamente altas.

De acuerdo con el aglomerante que constituya el mortero, se pueden encontrar los siguientes tipos:

1.2.1 Morteros calcáreos

Como es sabido, la cal es un plastificante y ligador conocido desde la antigüedad, estas características hacen del mortero de cal el más manejable de los conocidos. Sin embargo no pueden esperarse de él altas resistencias iniciales, debido a su velocidad de endurecimiento. La cal de mayor uso es la hidratada.

El agregado fino para estos morteros en realidad constituye un material inerte cuyo objetivo principal es evitar el agrietamiento y contracción del mortero, para lo cual se

² Sánchez de Guzmán, **Morteros. Tecnología del mortero y del concreto** (Bhandar Editores Ltda., Bogotá Colombia)

recomienda que tenga partículas angulosas y esté libre de materia orgánica, piedras grandes, polvo y arcilla.

Las proporciones cal-agregado más usadas en morteros aéreos son 1:2 para repellos y 1:3 o 1:4 para mampostería simple. Si la proporción aumenta, el mortero es más pobre, pueden ocurrir contracciones y agrietamientos no deseables, especialmente en repellos.³

1.2.2 Morteros de cemento Pórtland y cal

Los morteros de cemento Pórtland y cal deben combinarse de tal manera que se aprovechen las propiedades adhesivas de la cal y las propiedades cohesivas del cemento Pórtland, es importante tener en cuenta que cada adición de cal incrementa la cantidad de agua de mezclado necesaria para lograr las condiciones deseadas, debe buscarse una combinación adecuada.

En cada país la clasificación de morteros, obedece a ciertas especificaciones de resistencia a compresión, retención de agua y otras propiedades, de acuerdo con los materiales utilizados en su preparación. Una de estas especificaciones, de uso común en Guatemala, es la norma **ASTM C-270 “Standard Specification for Mortar for Unit Masonry”** (Especificación estándar para morteros de mampostería), la que cubre cuatro tipos de morteros M, S, N y O.

Estos pueden ser especificados por proporción o por propiedades, pero en ningún caso por ambas razones. La especificación por proporción rige siempre que se hace referencia a la norma ASTM C-270 y no se menciona un método específico.

³ Ídem Ref. 1

El mortero especificado por proporción según la norma ASTM C-270, debe cumplir con lo indicado en la tabla I, basándose en las masas de los materiales de la tabla II. Mientras que el mortero especificado por propiedades debe cumplir con lo indicado en la tabla III. (Ver tablas I, II y III).

Tabla I. Requerimientos para especificación por proporciones

Mortero	Tipo	Proporciones por volumen				Proporción de agregados	
		Cemento Pórtland o mezclado	Cemento de mampostería				Cal hidratada
			M	S	N		
Cemento-Cal	M	1	--	--	--	1/4	No menos de 2 1/4 y no más de 3 veces la suma de los volúmenes separados de los materiales cementantes
	S	1	--	--	--	Entre 1/4 y 1/2	
	N	1	--	--	--	Entre 1/2 y 1 1/4	
	O	1	--	--	--	Entre 1 1/4 y 2 1/2	
Cementos de albañilería	M	1	--	--	1	--	
	M	--	1	--	--	--	
	S	1/2	--	--	1	--	
	S	--	--	1	--	--	
	N	--	--	--	1	--	
O	--	--	--	1	--		

Fuente: *American society for testing and material, Section 4 Vol. 4.05. Pág. 191 ASTM C-270-03 "Standard Specification for Mortar for Unit Masonry"*

Tabla II. Pesos de materiales para moteros

Material	Peso Kg/m ³
Cemento Pórtland	1505
Cemento mezclado	Peso impreso en la bolsa
Cemento de albañilería	Peso impreso en la bolsa
Cal hidratada	640
Arena, seca y suelta	1280

Fuente: *American society for testing and material, Section 4 Vol. 4.05. Pág. 191 ASTM C-270-03 "Standard Specification for Mortar for Unit Masonry"*

Tabla III. **Requerimientos para especificación por propiedades**

Mortero	Tipo	Resistencia a la compresión, mínima a 28 días Kg/cm ²	Retención de agua mínima %	Contenido de aire máximo	Proporción de agregados
Cemento-Cal	M	175	75	19	No menos de 2 ¼ y no más de 3 veces la suma de los volúmenes separados de los materiales cementantes
	S	126	75	19	
	N	53	75	21*	
	O	25	75	21*	
Cementos de albañilería	M	175	75	**	
	S	126	75	**	
	N	53	75	**	
	O	25	75	**	

* Si hay refuerzo estructural, y el mortero es de cemento-cal, el contenido máximo de aire es de 12%. ** Si hay refuerzo estructural, y el morteros en de cemento de albañilería, el contenido máximo es de 18%

Fuente: *American society for testing and material, Section 4 Vol. 4.05. Pág. 191*
 ASTM C-270-03 “*Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*”

1.2.3 Morteros de cemento

Cuando se requieran resistencias elevadas, se puede usar como aglomerante cemento Pórtland. Las condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo con la relación agua-cemento usada. La fabricación de este mortero, que es hidráulico ha de efectuarse de un modo continuo, de manera tal que entre el mezclado y la colocación en obra haya el menor tiempo posible debido a lo rápido del fraguado del cemento. Por ello se acostumbra a mezclar en obra primero el cemento y el agregado, luego se añade el agua.

Los usos de los morteros de cemento se pueden reunir en cuatro grandes categorías:⁴

1. Morteros que proveen suficiente resistencia para soportar cargas a compresión, y/o resistan la abrasión.
2. Morteros que mantengan elementos en la posición deseada.
3. Morteros que permitan emparejar ciertas unidades estructurales (revoques y revestimientos).
4. Morteros que sirvan como relleno de juntas entre diferentes elementos constructivos (reparaciones de columnas, vigas, etc.).

Lo acostumbrado en el uso de morteros de cemento es la dosificación por partes de cemento y agregado (1:n), la mayoría de las veces haciéndose caso omiso, o desconociéndose la resistencia que dichos morteros obtendrán una vez endurecidos. Es clara la necesidad de diseñar y dosificar el mortero de acuerdo con las condiciones de resistencia particulares y algunas otras propiedades y características, se requiere un método claro y preciso. (Ver tabla IV)

Tabla IV. Usos de los morteros de cemento

Proporción	Usos
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos
1:2	Para la impermeabilización y muros de tanques subterráneos. Rellenos
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos
1:4	Pega de ladrillos y bloques en muros. Muros finos
1:5	Muros exteriores: pega de ladrillos, bloques, baldosas y mampostería en general. Muros no muy finos.
1:6 y 1:7	Muros interiores: pega de ladrillos, bloques, baldosas y mampostería en general. Muros no muy finos.
1:8 y 1:9	Pega para construcciones que se demolerán pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.

Fuente: Diego Sánchez de Guzmán. **Tecnología del concreto y del mortero**. Pág. 307

⁴ Ídem Ref. 1

1.3 Propiedades de los morteros

La evaluación de las propiedades de los morteros puede considerarse como una medida de control de calidad. Por lo regular se toman en cuenta propiedades en estado plástico y en estado endurecido. Si un mortero cumple con dichas características, fraguará y endurecerá dentro del tiempo y resistencia esperados.

1.3.1 Propiedades en estado plástico

1.3.1.1 Manejabilidad

Es una medida de la facilidad de colocación de la mezcla, en las unidades de mampostería o en revestimientos.

Está relacionada con la consistencia, la cual se refiere al estado de fluidez del mortero, es decir que tan dura (seca) o blanda (fluida) es la mezcla cuando se encuentra en estado plástico.

En general, se acepta como medida de la manejabilidad, el valor de fluidez de la mezcla obtenido en la mesa de flujo de acuerdo a la norma **ASTM C-230** “*Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement*” (Especificación estándar de la mesa de flujo para el uso en ensayos de cemento hidráulico).

1.3.1.2 Retención de agua

Es una medida de la habilidad del mortero para mantener su plasticidad cuando quede en contacto con una superficie absorbente, como una unidad de mampostería.

Puede ser mejorada mediante la adición de cal, dada su capacidad plastificante, aunque hoy en día se tienen otras alternativas igualmente satisfactorias como el uso de aditivos plastificantes y agentes incorporadores de aire.

La retención de agua incide en la velocidad de endurecimiento y la resistencia a compresión del mortero, ya que afecta la hidratación del cemento.

1.3.1.3 Velocidad de endurecimiento

Los tiempos de fraguado inicial y final del mortero deben estar entre límites adecuados. Sin embargo, éstos dependen de diversos factores como las condiciones del clima, la composición de la mezcla o la mano de obra, hoy en día son fácilmente controlables con el uso de aditivos. La norma **ASTM C-403** “*Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance*” (Método de ensayo estándar para el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por la resistencia a la penetración), da un método de ensayo para evaluar este parámetro.

1.3.2 Propiedades en estado endurecido

1.3.2.1 Retracción

Es la pérdida de volumen del mortero, y se debe principalmente a reacciones químicas de hidratación de la pasta, sobre todo en aquellas con una alta relación agua-cemento. El agregado soluciona el problema en parte especialmente si es de textura rugosa, ya que forma un esqueleto que evita los cambios de volumen y el peligro de agrietamiento. En zonas calurosas y de mucho viento el agua de mezclado tiende a

evaporarse produciendo tensiones internas en el mortero, que se expresan en la formación de visibles grietas. Lo mismo ocurre si la base es muy absorbente.

Aparentemente la retracción es proporcional al espesor de la capa de mortero y a la composición química del cemento. Para evitar la retracción es conveniente usar cementos de baja retracción al secado (puzolánicos o con adición inerte) y agregados de buena granulometría con pocos finos⁵.

1.3.2.2 Adherencia

La propiedad más importante del mortero es su habilidad para adherirse a las piezas de mampostería o acero. En general, la adherencia es la capacidad que tiene el mortero de absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie que lo une con la estructura. Es de gran importancia, ya que a ella se debe el hecho de que un mortero pueda resistir pandeo, cargas transversales y excéntricas, dándole resistencia a la estructura. La adherencia afecta en gran forma la permeabilidad y la resistencia a la flexión⁶.

En el caso de la mampostería, para obtener una buena adherencia es necesario que la superficie del bloque sea tan rugosa como sea posible para permitir la unión mecánica del mortero, así como un porcentaje de absorción proporcional a la retención de agua del mortero.

Los morteros plásticos de buena adherencia, buena capacidad de retención de agua y que no requieran de superficies húmedas para su colocación, son los más adaptables y de mayor utilización en mampostería ya que permiten una íntima unión entre las piezas.

⁵ Sánchez de Guzmán, **Morteros. Tecnología del mortero y del concreto** (Bhandar Editores Ltda., Bogotá Colombia)

⁶ Ídem Ref. 5

La mayor parte de los estudios de adherencia de morteros son hechos en especímenes almacenados al aire. Pero esta condición no permite una hidratación normal del cemento que es necesaria para garantizar una correcta adherencia entre las unidades de mampostería y el mortero. Sin curado húmedo, los morteros con el contenido de humedad mayor logran un curado mejor y alcanzan mayor resistencia a la adherencia. Los ensayos en especímenes almacenados al aire favorecen a los morteros que contienen cal porque ésta retiene mayor cantidad de agua.

1.3.2.3 Resistencia a la compresión

Una vez aplicado en obra, el mortero debe actuar como unión resistente. Se requiere una alta resistencia a la compresión cuando el mortero deba soportar cargas altas y sucesivas. Siendo ésta un indicio de los valores de los esfuerzos de corte y tensión

Hay dos leyes fundamentales que se aplican a la resistencia de un mortero compuesto del mismo cemento con diferentes proporciones y tamaños de agregado, la primera dice: **con un mismo agregado, el mortero más resistente e impermeable es aquel que tiene mayor porcentaje de cemento en un volumen dado de mortero;** y la segunda: **con el mismo porcentaje de cemento en volumen de mortero, el más resistente y generalmente más impermeable es aquél que tenga la mayor densidad, o sea aquél que en una unidad de volumen contenga el mayor porcentaje de materiales sólidos.**⁷

⁷ Ídem Ref. 1

1.3.2.4 Durabilidad

Es la resistencia a los agentes externos como las bajas temperaturas, la penetración del agua, desgaste por abrasión, retracción al secado, eflorescencias, agentes corrosivos, o choques térmicos, entre otros, sin deterioro de sus condiciones físico-químicas con el tiempo. En general, se cree que morteros de alta resistencia a la compresión tienen buena durabilidad, sin embargo, el uso de agentes inclusores de aire es de particular importancia en ambientes húmedos, ambientes marinos y en general en condiciones de ambiente agresivo.

1.3.2.5 Permeabilidad

Es la característica de dejar filtrar ya sea aire o agua. Los morteros trabajables y uniformes, pueden hacer que la mampostería sea más resistente a la permeabilidad al agua. Cuando un mortero no es trabajable, los albañiles deben golpear suavemente las piezas de mampostería para colocarlas en su sitio. El resultado de esto es que la junta de mortero no es tan buena, y se pueden producir grietas que favorezcan alguna filtración.

1.3.2.6 Eflorescencia

Es la cristalización de las sales solubles y es causada por el movimiento de agua de adentro hacia fuera de la pared. Ya que todos los materiales de mampostería contienen sales solubles en agua, que al contacto con ella se cristalizan, la cal hace al mortero menos permeable y así evita la eflorescencia.

1.3.2.7 Apariencia

Un aspecto que tiene importancia en el mortero es su apariencia, especialmente en mampostería de bloques a la vista. En este caso la plasticidad de la mezcla, la selección y dosificación adecuada de sus componentes son de vital importancia en la colocación y el acabado de superficies. El color y la textura pueden mejorarse con colorantes inorgánicos o con aditivos especiales.

1.4 Composición de los morteros

En un principio, se dijo que un mortero es la mezcla de un material aglomerante (cemento Pórtland y/u otros cementantes), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente cal y aditivos. La norma **ASTM C-270** dentro de sus especificaciones, presenta las propiedades que estos materiales deben cumplir.

1.4.1 Cemento

La palabra cemento define un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales le permiten unir fragmentos minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas. Esta definición no sólo abarca los cementos propiamente dichos, sino una gran variedad de materiales aglomerantes como las cales, los asfaltos y los alquitranes.

1.4.1.1 Cemento Pórtland

Se fabrica generalmente a partir de materiales minerales calcáreos, tales como caliza, alúmina y sílice, que se encuentran como arcilla en la naturaleza. En ocasiones

es necesario agregar otros productos para mejorar su composición química, siendo el más común el óxido de hierro.

Todo cemento Pórtland que se utilice para la elaboración de morteros, debe cumplir con la norma **ASTM C-150** “*Standard Specification for Portland Cement*” (Especificación estándar para cemento Pórtland), que los clasifica de la siguiente manera:

- ✓ Tipo I: destinado a obras en general, que le exigen propiedades especiales.
- ✓ Tipo II: destinado a obras expuestas a la acción moderada de los sulfatos y a obras en donde se requiere moderado calor de hidratación.
- ✓ Tipo III: desarrolla altas resistencias iniciales.
- ✓ Tipos IV: desarrolla bajo calor de hidratación.
- ✓ Tipo V: ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos

1.4.1.2 Cementos hidráulicos mezclados

Es frecuente el uso de cementos a base de clinker Pórtland y una proporción de otro material que aunque no tenga propiedades cementantes por sí mismo, las desarrolla cuando se mezcla con el cemento Pórtland, como las escorias de hornos, puzolanas, cenizas volcánicas. Estos cementos hasta ciertos límites en la proporción del material a adicionar, resultan en cuanto a calidad similar al cemento Pórtland. Se encuentran definidos en la norma **ASTM C-595** “*Standard Specification for Blended Hydraulic Cements*” (Especificación estándar para cementos hidráulicos mezclados), la cual reconoce cinco tipos para usos generales y aplicaciones especiales, usando escoria de alto horno o puzolana, con cemento Pórtland, clinker de cemento Pórtland o cal hidratada, estos son:

- a) **Cemento Pórtland con escoria de alto horno.**
- b) **Cemento Pórtland puzolánico.**
- c) **Cemento de escoria.**
- d) **Cemento Pórtland modificado con puzolana.**
- e) **Cemento Pórtland modificado con escoria.**

1.4.1.3 Cementos de mampostería

Al final de la década de los 20, los fabricantes de cemento Pórtland de Estados Unidos empezaron a formular combinaciones especiales de cemento y plastificantes para la industria de la mampostería. Estas se llamaron cementos de mampostería que generalmente se componen de alguno o varios de los siguientes materiales:

- ✓ Cemento Pórtland., cemento hidráulico mezclado, cemento natural o cal hidráulica.
- ✓ Cal hidratada.
- ✓ Caliza, creta, conchas calcáreas, talco, escoria o arcilla

Estos se seleccionan de acuerdo a su capacidad para impartir trabajabilidad, plasticidad y retención de agua a los morteros. Las especificaciones, dadas en la norma **ASTM C-91 “Standard Specification for Masonry Cement”** (Especificación estándar para cemento de mampostería), pueden considerarse como medidas de control de calidad. Si un cemento de mampostería cumple con estos requisitos, el mortero que se prepare con el mismo cumplirá con las propiedades deseadas tanto en estado plástico como en estado endurecido si se elabora de una forma adecuada. (Ver tabla V)

Tabla V. **Requisitos físicos de cementos de mampostería**

Tipo de cemento de mampostería	N	S	M
Finura, residuo en el tamiz No. 325, máximo; %	24	24	24
Expansión al autoclave, máximo; %	1.0	1.0	1.0
Tiempo de fraguado: Fraguado inicial mínimo; hrs Fraguado final máximo; hrs	2 24	1.5 24	1.5 24
Resistencia a la compresión, mínima; kg/cm ² 7 días 28 días	35 63	91 147	126 203
Contenido de aire en mortero, volumen; % Mínimo Máximo	8 21	8 19	8 19
Retención de agua, flujo después de succión como un porcentaje del flujo original, mínimo	70	70	70

Fuente: Autores Varios. **Recopilación de artículos sobre mampostería.** Pág. 9

1.4.2 Cal

La cal se obtiene calcinando caliza y otras formas de carbonato de calcio. La cal pura, llamada también cal viva o cal cáustica, está compuesta por óxido de calcio (CaO), aunque normalmente los preparados comerciales contienen impurezas, como óxidos de aluminio, hierro, silicio y magnesio. Al tratarla con agua se desprenden grandes cantidades de calor y se forma el hidróxido de calcio, que se vende comercialmente como un polvo blanco denominado cal apagada o cal hidratada.

La cal se utiliza para preparar cemento y morteros, y para neutralizar los suelos ácidos en agricultura. También se emplea para fabricar papel y vidrio, para lavar la ropa blanca, para curtir las pieles o el cuero, en el refinado de azúcar y para ablandar el agua.⁸

⁸ “Cal”, **Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2004.** © 1993-2003 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

1.4.2.1 Propiedades físicas

Por lo general, en los morteros se utiliza la cal hidratada tipo “S”, de acuerdo a la norma **ASTM C-207 “Standard Specification for Hydrated Lime for Masonry Purposes”** (Especificación estándar para cal hidratada para usos en mampostería). Esta indica los requisitos que debe cumplir la cal, como lo son:

- ✓ Finura
- ✓ Estabilidad
- ✓ Plasticidad
- ✓ Retención de agua
- ✓ Capacidad de incorporación de arena

1.4.3 Agregados

Los agregados finos llamados arenas o áridos, son todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia de grano), no perturban ni afectan las propiedades y características del mortero y garantizan una adherencia suficiente con la pasta endurecida de cemento.

En general la mayoría son materiales inertes, es decir que no desarrollan ningún tipo de reacciones con los demás constituyentes del mortero, especialmente con el cemento; sin embargo hay algunos cuya fracción más fina presenta actividad en virtud de sus propiedades hidráulicas, colaborando con el desarrollo de la resistencia mecánica característica del mortero, tales como las escorias de alto horno, los materiales de origen volcánico que contienen sílice activo, y el ladrillo triturado. Pero otros presentan elementos nocivos o eventualmente inconvenientes que reaccionan afectando la estructura interna del mortero y su durabilidad, como por ejemplo los compuestos de

azufre, los que contienen partículas pulverulentas más finas o aquellos que se encuentran en descomposición latente como algunas pizarras.

1.4.3.1 Tipos

De acuerdo con el origen de los agregados, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) **Agregados naturales:** son todos aquellos que provienen de la explotación de fuentes naturales tales como depósitos de arrastres fluviales (arenas de río) o de glaciares (canto rodado) y de canteras de diversas rocas y piedras naturales. Se pueden aprovechar en su granulación natural o triturándolos mecánicamente, según sea el caso, de acuerdo con las especificaciones requeridas.

- b) **Agregados artificiales:** estos se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como: arcillas expandidas, escorias de alto horno, clinker, limaduras de hierro y otros. Generalmente son más ligeros o pesados que los naturales.

Por lo general las arenas naturales (depósitos, sedimentarios, ríos, etc.) producen morteros de resistencias más altas que las de cantera (obtenidas por medio de voladura, o por trituración) siendo este efecto más notorio en morteros pobres de cemento.

1.4.3.2 Propiedades

La norma que especifica las propiedades de los agregados para morteros es la **ASTM C-144 “Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar”** (Especificación estándar para agregados de morteros de mampostería).

Dentro de los factores que se mencionan para su utilización, se tiene:

1. El agregado fino utilizado en morteros de albañilería, revestimientos y relleno debe de ser limpio y bien graduado. Su selección depende de la disponibilidad de él en la zona (depósitos aluviales, de cantera, etc.), costo de explotación y transporte y de su eventual comportamiento en el mortero en cuanto a consistencia, resistencia y tamaños existentes representados en el módulo de finura.
2. De la graduación del agregado depende en muy buena parte la trabajabilidad y la penetración de humedad. Los módulos de finura bajos requieren más agua que los gruesos para una misma consistencia, por lo cual se generan morteros frágiles y porosos. Por otra parte, si se aumenta el módulo de finura, para una consistencia dada, el contenido de cemento disminuye.

1.4.4 Agua

Se puede definir como aquel componente del mortero en virtud del cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados. Se clasifica en agua de mezclado y agua de curado.

El agua que sea potable y que no tenga un pronunciado olor o sabor puede usarse para mezclas de morteros. Si embargo, esto no es rigurosamente cierto, debido a que dentro del agua potable se pueden encontrar disueltas en altas concentraciones sales, cítricos o azúcares, entre otros, que pueden ser perjudiciales para el mortero. Por otro lado, el agua que es buena para el mortero no necesariamente es buena para beber.

1.4.4.1 Agua de mezclado

Está definida como la cantidad de agua por volumen unitario de mortero que requiere el cemento, contenido en ese volumen unitario para producir una pasta bien hidratada, con una fluidez tal que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico. De ahí el hecho de que deba hacerse un estricto control sobre el agua de mezclado en el momento de dosificarla.

Al endurecerse la pasta como consecuencia del fraguado, parte del agua queda fija en la estructura rígida de la pasta y el resto queda como agua libre. Si la cantidad de agua de mezclado se aumenta, la parte que de ella queda fija es la misma y por consiguiente el agua libre aumenta, con lo cual aumenta la porosidad y con esta la pasta pierde resistencia y el mortero se hace más permeable.

1.4.4.2 Agua de curado

El curado puede definirse como el conjunto de condiciones necesarias, para que la hidratación de la pasta evolucione sin interrupción hasta que todo el cemento se hidrate y el mortero alcance sus propiedades potenciales. Estas condiciones se refieren básicamente a la humedad y la temperatura. Por lo tanto, el agua de curado constituye el suministro para hidratar eficientemente el cemento durante el fraguado.

1.4.5 Aditivos

El cemento Pórtland fue el primer aditivo moderno que se agregó al mortero para mampostería. Actualmente, muchos aditivos son añadidos a los morteros de acuerdo al uso o costos.

Según el Comité ACI-212 (*American Concrete Institute*), un aditivo se puede definir como “*un material distinto del agua, agregados y cemento hidráulico, que se usa como ingrediente en concretos o morteros y se añade a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado*”.

La norma **ASTM C-494** “*Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*” (Especificación estándar para aditivos químicos para concreto) identifica los tipos de aditivos (Ver tabla VI)

Tabla VI. Tipos de aditivos químicos según la norma ASTM C-494

Tipo	Descripción
A	Aditivos reductores de agua
B	Aditivos retardantes
C	Aditivos acelerantes
D	Aditivos reductores de agua y retardantes
E	Aditivos reductores de agua y acelerantes
F	Aditivos reductores de agua de alto rango
G	Aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes

Fuente: Diego Sánchez de Guzmán. **Tecnología del concreto y del mortero**. Págs. 63 y 64

2 ESCORIA DE HORNOS DE SIDERURGICA DE GUATEMALA (SIDEGUA)

2.1 Definición de escorias

La escoria es un residuo impuro, no metálico, formado fundamentalmente por calcio, hierro, aluminio y silicato de magnesio, que aparece en el proceso de producción de arrabio y acero y en la fundición de metales como el cobre, el plomo o el níquel.⁹

2.2 Tipos

En la actualidad, y con los procesos de transformación y producción con los que se cuenta, se conocen dos tipos de escorias¹⁰:

- a) **Escoria granulada de altos hornos**
- b) **Escoria de horno de arco eléctrico o de siderurgia**

La escoria fundida a alta temperatura se enfría rápidamente y se apaga en el agua para formar un material granulado vítreo, el cual es molido finamente hasta menos de 45µm, teniendo una superficie Blaine de 400 a 600 m²/kg, una masa específica relativa de 2.85 a 2.95 y masa unitaria que varía de 1050 a 1375 kg/m³.

⁹ “Escoria”, **Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2004**. © 1993-2003 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

¹⁰ Ídem ref. No. 4

Esta escoria es áspera y tiene forma angular, en presencia de agua y de un activador NaOH o CaOH, ambos suministrados por el cemento Pórtland, la escoria se hidrata y se endurece de una manera similar al cemento Pórtland; sin embargo las escorias enfriadas por el aire no presentan las propiedades hidráulicas de las escorias enfriadas por el agua.¹¹

La escoria de SIDEGUA esta dentro del tipo de horno de arco eléctrico, ya que “son un subproducto del proceso siderúrgico en el que el arrabio y/o la chatarra se refinan para producir acero”.¹²

2.3 Caracterización de la escoria de hornos de SIDEGUA

El trabajo de graduación del Ing. Edgar Francisco Solórzano, “**Caracterización de la escoria de hornos de la planta SIDEGUA como puzolana artificial**”, presenta la información de las propiedades químicas y físico-mecánicas que poseen las escorias que se generan en la Planta Escuintla de SIDEGUA. (de 85 a 90 Ton/mes)

La escoria que mejores resultados presentó en su caracterización fue la que se tomó para elaborar los cementos mezclados, y evaluar los morteros. (Ver tabla VII)

¹¹ Kosmatka, Steven H y otros, **Diseño y control de mezclas de concreto** (PCA, Skokie, Illinois, EEUU) 2004, 468 pp.

¹² “Las escorias de acería y su empleo en carreteras y vías férreas”, **Revista de la empresa Heckett Multiserv**, página 87.2002

Tabla VII. Composición química de la escoria

Constituyentes químicos	Tipo de Escoria	
	Altos Hornos (% por masa)	Horno de arco eléctrico SIDEGUA (% por masa)
SiO ₂	32-40	21.6
Al ₂ O ₃	7-17	7.5
CaO	29-42	8.6
MgO	8-19	49.86
Fe ₂ O ₃	0.1-1.5	18.9
MnO	0.2-1	0.4

Adaptada: PCA Research and Development Bulletin RD112T. **Supplementary cementing materials for use in blended cements.**, y Solórzano Jiménez Edgar Francisco. **Caracterización de la escoria de hornos de Sidegua como puzolana artificial.**

3 DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 Muestreo

Se realizó una visita a la planta de SIDEGUA ubicada en el kilómetro 65 de la antigua carretera que conduce al Puerto de San José, municipio de Masagua, departamento de Escuintla, con el fin de tomar muestras de la escoria seleccionada, que luego se trasladaron al Centro de Investigaciones de Ingeniería.

3.2 Proporciones de cementos mezclados

Según la norma **ASTM C-595** un cemento mezclado con escoria de hornos, debe contener entre un 25 y 70% de escoria; tomando en cuenta los resultados obtenidos por el Ing. Solórzano en su trabajo de Graduación, se decidió fabricar dos cementos:

1. Cemento Mezclado (30% cemento Pórtland y 70% escoria), identificado como CM 30-70
2. Cemento Mezclado (70 % cemento Pórtland y 30% escoria), identificado como CM 70-30

3.3 Fabricación de cementos mezclados

Esta parte de la investigación se llevó a cabo en dos fases:

- a) Se pasó la escoria por un tamiz No. 30, con el fin de retirar partículas de gran tamaño que no son de utilidad en la elaboración del cemento mezclado. Luego se colocó en bolsas plásticas que facilitaran su manejo.

- b) Se colocaron el cemento Pórtland y la escoria en un molino de bolas, en molindas de 50 libras por 25 minutos.

El cemento Pórtland utilizado para la fabricación de los cementos mezclados fue tipo I, **Súper Tolteca 5800** que cumple con requisitos de la norma **ASTM C-150**, facilitado por **Cementos Tolteca**.

3.4 Caracterización de cementos mezclados

Se trabajó de acuerdo a los procedimientos y especificaciones indicados en la norma **ASTM C-595**, evaluándose los siguientes parámetros:

3.4.1 Parámetros químicos:

- ✓ Óxido de magnesio (MgO)
- ✓ Sulfuro reportado como sulfato (SO₃)
- ✓ Residuo insoluble
- ✓ Pérdida por ignición

Los ensayos se realizaron en la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, según procedimientos descritos en la norma **ASTM C-114** “*Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement*” (Métodos de ensayo estándar para el análisis químico de cementos hidráulicos). Ver anexos.

3.4.2 Parámetros físico-mecánicos:

✓ **Resistencia a la compresión**

Según norma ASTM C-109M “*Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*” (Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de morteros de cemento Pórtland usando cubos de 2 pl. o 50 mm)

✓ **Estabilidad de volumen**

Según norma ASTM C-151 “*Standard Test Method for Autoclave Expansion of Portland Cement*” (Método de ensayo estándar para la expansión en autoclave del cemento Pórtland), el cambio de longitud en porcentaje se denomina expansión o contracción al autoclave según sea el caso.

✓ **Contenido de aire de mortero**

Según norma ASTM C-185 “*Standard Test Method for Air Content of Hydraulic Cement Mortar*” (Método de ensayo estándar para el contenido de aire de morteros de cemento hidráulico).

✓ **Consistencia Normal**

Según norma ASTM C-187 “*Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement*” (Método de ensayo estándar para la consistencia normal del cemento hidráulico).

✓ **Densidad**

Según norma ASTM C-188 “*Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement*” (Método de ensayo estándar para la densidad del cemento hidráulico)

✓ **Fraguado del cemento**

Según norma ASTM C-191 “*Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle*” (Métodos de ensayo estándar para el tiempo de fraguado del cemento hidráulico por las agujas de Vicat).

✓ **Fineza**

Según norma ASTM C-204 “*Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus*” (Método de ensayo estándar para la fineza del cemento hidráulico por el aparato de permeabilidad al aire)

Según norma ASTM C-430 “*Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by the 45- μ m (No. 325) Sieve*” (Método de ensayo estándar para la fineza del cemento hidráulico por el tamiz de 45 μ m (No. 325).

3.5 Caracterización de morteros

Se trabajó de acuerdo a los procedimientos y especificaciones indicados en la norma ASTM C-270, evaluándose los siguientes parámetros:

✓ **Resistencia a la compresión**

Según norma ASTM C-109M “*Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*” (Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de morteros de cemento Pórtland usando cubos de 2 pl. o 50 mm)

✓ **Retención de agua y contenido de aire**

Según norma ASTM C-91 “*Standard Specification for Masonry Cement*” (Especificación estándar para cemento de mampostería).

✓ **Resistencia a la tensión**

Se evaluó según norma **ASTM C-190** “*Standard Test Method for Tensile Strength of Hydraulic Cement Mortars*” (Método de ensayo estándar para la resistencia a la tensión de morteros de cementos hidráulicos), aplicado únicamente al mortero de revestimiento.

En esta parte del estudio, los materiales utilizados en la elaboración de los morteros fueron:

- ✓ **Cal Hidratada:** marca **Horcalca**, que cumple con requisitos de la norma **ASTM C-207**,
- ✓ **Agregados:** de uso común en nuestro medio, arena de río para el mortero de albañilería, arena amarilla para el mortero de revestimiento y arena blanca para el acabado.
- ✓ **Cemento mezclado** (70% cemento Pórtland y 30% escoria de hornos)

El mortero de albañilería evaluado según norma **ASTM C-270**, es un mortero tipo M con una proporción en volumen 1:¼:3 (cemento: cal hidratada: agregados); mientras que el mortero de revestimiento evaluado consistió en una mezcla en proporción de volumen de 1:2:4 (cemento: cal hidratada: arena amarilla)

Tabla VIII. **Proporción de morteros**

Mortero	Tipo	Proporciones por volumen		
		Cemento mezclado (CM 70-30)	Cal Hidratada	Agregados
Albañilería	M	1	¼	3
Revestimiento		1	2	4

3.6 Aplicaciones de morteros

3.6.1 Mortero de albañilería

Para esta aplicación se construyeron prismas con bloques de concreto proporcionados por la empresa **Megaproductos, S.A.** de una categoría de resistencia de 35 kg/cm^2 , con dimensiones $0.14 \text{ m} \times 0.19 \text{ m} \times 0.39 \text{ m}$, ensayados a compresión, corte, adherencia y fricción a una edad de 28 días a. (Ver figuras 1 y 2)

Figura 1. Prisma ensayos a compresión y corte

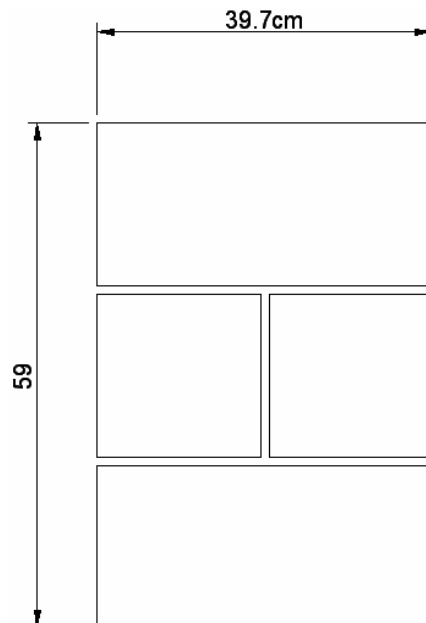
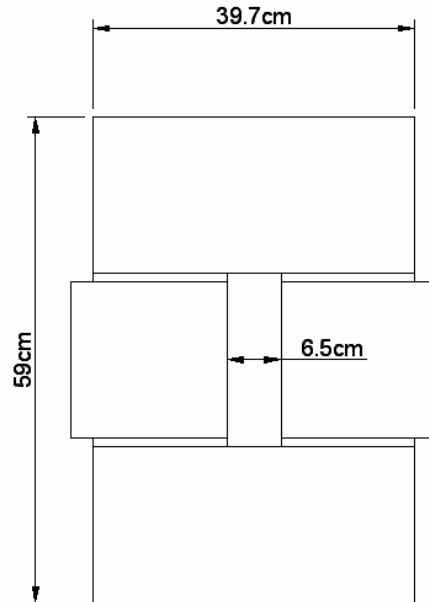


Figura 2. **Prisma ensayo adherencia y fricción**



3.6.1.1 Ensayo prismas a compresión

La norma **ASTM E-447** “*Standard Test Method for Compressive Strength of Laboratory Constructed Masonry*” (Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de mampostería construida en laboratorio), cubre dos pruebas de compresión de prismas de mampostería:

- ✓ Método A – para determinar datos comparativos en la resistencia a compresión de prismas de mampostería fabricados en laboratorio con cada unidad de mampostería diferente o tipo de mortero, o ambos.

- ✓ Método B – para determinar la resistencia a compresión de mampostería construida en el sitio de trabajo con los mismos materiales y mano de obra a utilizarse, en una estructura en particular.

En el caso de este estudio se utilizó el método A, en el cual los prismas se sometieron a carga de compresión hasta obtener la falla (Ver figura 3) determinándose luego el esfuerzo último de compresión según la siguiente ecuación:

$$f^*p = \frac{F}{Ab}$$

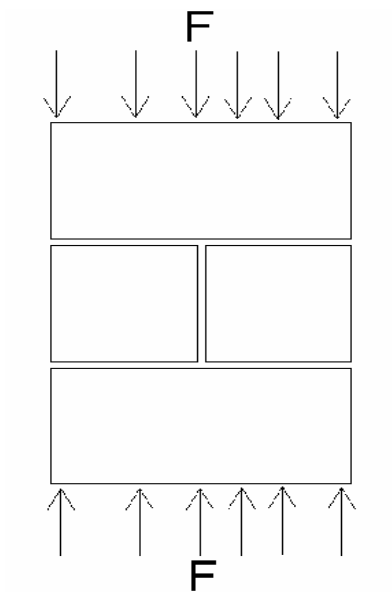
Donde:

f^*p = esfuerzo de compresión último, en kg/cm^2

F = carga de compresión última (promedio 3 prismas), en kg

Ab = área bruta del bloque, en cm^2

Figura 3. **Aplicación de carga ensayo a compresión**

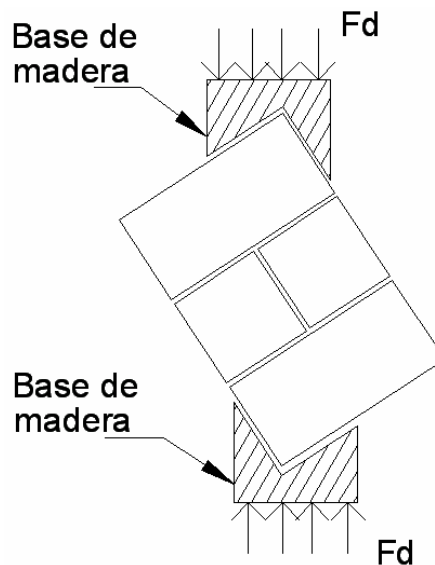


3.6.1.2 Ensayo prismas a corte

La norma ASTM E-519 “*Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblies*” (Método de ensayo estándar para la tensión diagonal (corte) en ensamblados de mampostería), cubre este ensayo en prismas.

Los prismas se acomodaron sobre apoyos fabricados de tal forma, que la diagonal quedará en posición vertical para aplicarle carga de corte **F_d** (Ver figura 4)

Figura 4. Aplicación de cargas



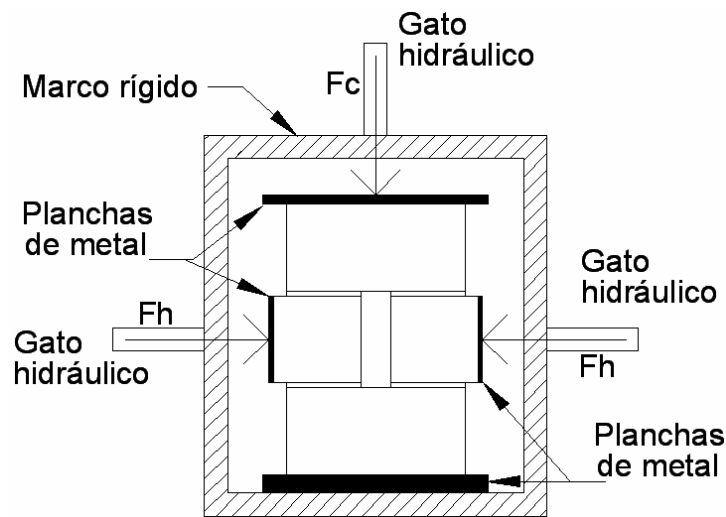
3.6.1.3 Ensayo prismas adherencia y fricción

Los prismas se colocaron, alinearon y nivelaron en un marco rígido (Ver figura No.5) procediendo de la siguiente forma:

1. Medir área de contacto entre el bloque y el mortero.

2. Aplicación de carga vertical de confinamiento F_c por medio de un gato hidráulico.
3. Aplicación gradual de carga lateral F_h por medio de gatos hidráulicos hasta producir un desplazamiento en las mitades intermedias.
4. Falla final

Figura 5. Ensayo de Adherencia y Fricción



El coeficiente de fricción y la fuerza de adherencia se determinaron según las siguientes ecuaciones:

$$F_h = a_0 + a_1 F_c$$

$$a_0 = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{N(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a_1 = \frac{N(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{N(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

Donde:

F_h = carga lateral, en kg.

F_c = carga de confinamiento, en kg.

a₀ = fuerza de adherencia, en kg.

a₁ = coeficiente de fricción, adimensional

N = número de pares ordenados

3.6.2 Mortero de revestimiento

Se preparó la mezcla de tal forma que tuviera las condiciones necesarias de trabajabilidad y apariencia.

Se resanó el muro con este revestimiento de 1 cm de espesor sobre el que luego se aplicaron dos tipos de acabados (cernido vertical y cernido remolineado). Este muro se encuentra a la intemperie.

4 RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados que se obtuvieron en los ensayos realizados a los cementos mezclados, y a morteros.

4.1 Cementos mezclados

4.1.1 Análisis químico

Tabla IX. Análisis químico de cementos mezclados

Parámetro (%)	Cemento Mezclado		Especificaciones ASTM C-595
	CM 30-70	CM 70-30	
Óxido de Magnesio (MgO)	5.2	1.7	No especifica
Sulfato de calcio como SO ₃	1.2	1.9	Máximo 3.0
Azufre como sulfato*	--	--	Máximo 2.0
Residuo insoluble	3.4	4.6	Máximo 1.0
Pérdida por ignición	7.8	6.7	Máximo 3.0

* No se pudo determinar
Ver anexo No. 1

4.1.2 Análisis físico-mecánico

Tabla X. Análisis físico-mecánico de Cementos Mezclados

Parámetro	Cemento Mezclado		Especificaciones ASTM C-595	
	CM 30-70	CM 70-30		
Fineza por Tamiz No. 325 (% retenido)	30.3	15.3	No especifica	
Expansión en Autoclave (%)	*	*	- 0.2 < % < 0.8	
Superficie Específica Blaine (cm ² /g)	3102.0	3245.0	No especifica	
Consistencia Normal (%)	31.0	29.0	10 ± 1 mm de penetración	
Fraguado Vicat (min)	Inicial: 25 Final: 46	Inicial: 188 Final: 382	Inicial: No menos de 45 min. Final: No más de 7 hrs.	
Peso Específico (g/cm ³)	3.0	3.1	No especifica	
Contenido de Aire en mortero (%)	3.9	7.1	Máximo 12.0	
Resistencia a compresión kg/cm ²	3 días	19.4	82.3	Mínimo 133 kg/cm ²
	7 días	29.3	188.1	Mínimo 204 kg/cm ²
	28 días	44.0	212.7	Mínimo 255 kg/cm ²
Contracción de secado (%)	*	*	No especifica	

* No fue posible evaluar.
Ver anexo No. 2

4.2 Morteros

Tabla XI. Caracterización de morteros

Parámetro	Mortero (CM 70-30)		Especificaciones ASTM C-270
	Albañilería	Revestimiento	
Retención de Agua (%)	69.0	*	75 % mínima
Contenido de Aire (%)	11.0	*	21 % máximo
Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	157.0	18.2	Mínimo 175 kg/cm ² a 28 días
Resistencia a la tensión (kg/cm ²)	NA	10.9	No especifica

* No fue posible evaluar

Ver anexo No. 2

4.3 Aplicaciones de morteros

4.3.1 Mortero de albañilería

Tabla XII. Aplicaciones de mortero de albañilería

Parámetro	Resultado
Esfuerzo último a compresión (kg/cm ²)	23.0 Área bruta
	47.9 Área neta
Resistencia última a corte (kg)	12833.0
Esfuerzo de Adherencia (kg/cm ²)	10.7
Coefficiente de Fricción (adimensional)	0.262
Área de contacto mortero-bloque (cm ²)	210

Ver anexo No. 3

Figura 6. Falla prisma a compresión



Figura No. 7 Falla prisma a corte



Figura 8. Falla prisma adherencia y fricción



4.3.2 Mortero de revestimiento

Después del período de observación de los revestimientos aplicados sobre el muro a la intemperie por un período de 6 meses, se notó un comportamiento satisfactorio a los factores climáticos.

El revestimiento se mantiene en muy buenas condiciones no sufriendo grietas ni desprendimientos de la superficie recubierta por falta de adherencia. En el tiempo de observación se ha demostrado muy buena durabilidad, no se ha presentado eflorescencia, y tiene una buena apariencia.

Figura 9. Aplicación de mortero de revestimiento, acabado vertical



Figura 10. Aplicación de mortero de revestimiento, acabado remolineado



5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Cementos mezclados

La fineza de un cemento determina su capacidad de retención de agua; esta produce una mejor hidratación del cemento siendo el factor determinante de la resistencia a compresión. El resultado del CM 70-30 fue 15% de retenido en el tamiz No. 325, la mitad del % retenido del CM 30-70.

El tiempo de fraguado es el efecto más notorio del cemento en un mortero, ya que influye directamente en las condiciones óptimas de manejabilidad. El CM 70-30 obtuvo resultados satisfactorios dentro de los requisitos de la norma **ASTM C-595**, no así el CM 30-70 que tuvo un fraguado más corto. La resistencia a la compresión es la propiedad que más se busca en un mortero, pues esta se relaciona con su durabilidad y desempeño. A pesar de que el CM 70-30 no cumplió con los requisitos a compresión, su resultado fue 5 veces mayor que el del CM 30-70.

Los tres factores antes mencionados (fineza, tiempo de fraguado y resistencia a la compresión) se relacionan de una manera estrecha en el comportamiento de un cemento, por lo que se tomó la decisión de que el CM 70-30 fuera la base de los morteros a evaluarse.

Los resultados obtenidos con el CM 70-30, muestran que este cumple con los requisitos que lo clasifican como Cemento de Mampostería tipo “S” bajo la norma **ASTM C-91**.

5.2 Morteros

5.2.1 Mortero de albañilería

La retención de agua de un mortero es un factor importante en el desarrollo de la resistencia a compresión, así como de la adherencia entre las piezas de la mampostería. Los resultados obtenidos con el CM 70-30, muestran que no cumple con las especificaciones de la norma **ASTM C-270** en cuanto a retención de agua y resistencia a compresión cumpliendo en el valor de contenido de aire obtenido.

El comportamiento del mortero en los prismas es satisfactorio, ya que las fallas que se presentaron fueron las típicas en todos los casos:

- ✓ Fisuras verticales y colapso de bloques en los ensayos a compresión.
- ✓ Falla vertical en la diagonal en los ensayos a corte.
- ✓ Desplazamiento y colapso de bloques en los ensayos de adherencia y fricción.

Estas fallas nos demuestran que la resistencia a compresión del mortero es más de dos veces que la de los bloques, que es un factor de uso común.

5.2.2 Mortero de revestimiento

Debido a la alta relación agua-cemento que permite dar a este mortero las características con las que debe de contar en el momento de aplicarse sobre el muro, no fue posible la determinación del contenido de aire y la retención de agua.

Durante el período de observación, el mortero estuvo sometidos a factores climáticos que no afectaron su desempeño; desarrolló buena adherencia al muro, pues no presentó ningún desprendimiento, la presencia de cal ayudó a la permeabilidad, posee buena apariencia en los texturizados (vertical y remolineado) que se le dieron al revestimiento.

CONCLUSIONES

1. El CM 30-70 no cumple con las especificaciones de la norma ASTM C-595.
2. El CM 70-30 cumple únicamente con los requisitos de tiempos de fraguado Vicat y contenido de aire en mortero dados en la norma ASTM C-595.
3. El CM 30-70 no cumple con los requisitos de un cemento de mampostería, según norma ASTM C-91.
4. El CM 70-30 se clasifica como cemento de mampostería tipo “S” de acuerdo con la norma ASTM C-91.
5. La fineza del cemento afecta la retención de agua en el mortero, que influye directamente en el desarrollo de la resistencia a compresión del mortero.
6. Se redujo en 30% el uso de cemento Pórtland en morteros al usarse el CM 70-30.
7. El mortero de albañilería elaborado con el CM 70-30 no cumple con las especificaciones de la norma ASTM C-270.
8. El mortero de revestimiento elaborado con el CM 70-30 no cumple con las especificaciones de la norma ASTM C-270.

9. La resistencia a compresión del mortero fue mayor que la de los bloques.

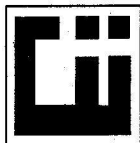
RECOMENDACIONES

1. Evaluar un cemento mezclado en proporción de 80% de cemento Pórtland y 20% de escoria de hornos que pueda cumplir con las propiedades de la norma ASTM C-595.
2. Estudiar el comportamiento de los morteros a edades mayores.
3. Evaluar el desempeño de los morteros en distintas zonas climáticas del país.
4. Estudiar distintas proporciones de morteros elaborados con cementos mezclados.
5. Evaluar los morteros con distintos tipos de agregados.
6. Investigar otras aplicaciones que se les pueda dar a los Cementos Mezclados con Escoria de Horno como cajas de drenajes, elementos decorativos, etc.
7. Controlar las características de los agregados utilizados en la fabricación de morteros, pues son un factor influyente en el comportamiento de los morteros.
8. Agregar cal a los morteros elaborados para mejorar características como retención de agua, plasticidad y tiempo de vida.
9. Impulsar un programa de divulgación y capacitación en el aprovechamiento de las escorias de horno como opción de un material de construcción alternativo, para beneficio ambiental de las comunidades cercanas a la planta de SIDEGUA y de la planta misma.

BIBLIOGRAFÍA

1. *American Society for Testing and Material (ASTM); Cement; Lime; Gypsum. (ASTM Standards on disk, Volume 04.01)* ASTM International, West Conshohocken, PA, USA. Octubre, 2004.
2. *American Society for Testing and Material (ASTM); Concrete and aggregates. (ASTM Standards on disk, Volume 04.02)* ASTM International, West Conshohocken, PA, USA. Octubre, 2003.
3. Instituto Nacional de Tecnología Industrial INTI Argentina y Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo CIID Canadá. **Proyecto Escorias de altos hornos Argentina. (Informe Técnico Final)**. Argentina: 170. 1991.
4. Kosmatka, Steven H. y otros. **Diseño y control de mezclas de concreto**. 5 ed. Skokie, Illinois, EEUU: *Portland Cement Association*. 2004. 468 pp.
5. Sánchez de Guzmán, Diego. **Tecnología del concreto y del mortero**. 5 ed. Santa Fé de Bogotá, Colombia: Bhandar Editores Ltda., 2001. 349 pp.
6. Solórzano Jiménez, Edgar Francisco. **Caracterización de la escoria de hornos de la planta SIDEGUA como puzolana artificial**. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 64 pp.
7. Zapata M., Blanca Helena. **Generalidades sobre la cal**. Medellín, Colombia: Instituto Colombiano de Productores de Cemento, 1992. 14 pp.

ANEXO



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O.T. No.17801
No. Informe Lab. 69-04

Interesado: Kenneth Alejandro Molina
Proyecto: Trabajo de Graduación
Muestra: 2 Muestras de cemento
Fecha: 30 de noviembre de 2004


Determinación de residuo insoluble, pérdida por ignición, trióxido de azufre y óxido de magnesio según NORMAS COGUANOR NGO 41 003 h17, h18 y h19.

Parámetro (%)	Muestra A*	Muestra B*	Especificaciones**
Residuo insoluble	3.35	4.6	No especifica.
Pérdida por ignición	7.75	6.65	Máximo 5.0
Sulfato de calcio como SO ₃	1.18	1.94	Máximo 4.0
MgO	5.17	1.66	Máximo 6.0


*Muestra proporcionada por el interesado.

**Según Ngo 41 001:87, para cemento Portland puzolánico Tipo IP, IP-A, P, P-A, I(PM), I(PM)-A.

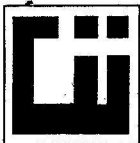
Atentamente,


Ing. César Alfonso García Guerra
Jefe
Sección Química Industrial - CII -




Vo.Bo. Ing Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
DIRECTOR
Centro de Investigaciones de Ingeniería - CII





O. T. No. 18265

INFORME No. 12-2006 S. AM.

Interesado: Kenneth Molina Escobar
Proyecto: Trabajo de Graduación
Asunto: Caracterización de dos Cementos Mezclados
(Cemento Portland + Escoria) y evaluación a
dos morteros de mampostería
Fecha: 30 de marzo de 2006

1. **Generalidades:** el interesado proporcionó dos muestras de cementos mezclados, un saco de Cal Horcaisa, Arena amarilla y arena de río, identificados por el de la siguiente manera:

- Cemento Mezclado (70-30)
- Cemento Mezclado (30-70)

Solicitando que se les evaluara los siguientes parámetros a los cementos:

- peso específico (ASTM C-188)
- Consistencia normal (ASTM C-187)
- Finura Blaine (ASTM C-204)
- Fraguado Vicat (ASTM C-191)
- Resistencia a la Compresión (ASTM C-109)
- Expansión al autoclave (ASTM C-151)
- Fineza Tamiz 325 (ASTM C-430)



y a los morteros les fueran evaluados los siguiente parámetros:

- Diseño de mezclas y resistencia a compresión y a tensión a 3, 7 y 28 días, a un mortero de levantado y un mortero de acabado (el interesado indicó las proporciones a utilizar en estos)
- Ensayo de retención de agua
- Resistencia a compresión a tres edades convenidas (ASTM C-109)

2. Procedimiento: se trabajó de acuerdo a lo indicado en cada una de las normas aplicables, en los casos no normados seguimos las instrucciones del interesado.

3. Resultados:

3.1 Cementos Mezclados

Parámetro	CM 30-70	CM 70-30	Especificaciones ASTM C-595	
Finza por Tamiz No. 325 (% retenido)	30.3	15.3	No especifica	
Expansión en Autoclave (%)	—*	—*	No especifica	
Superficie Especifica Blaine (cm ² /g)	3102	3245	No especifica	
Consistencia Normal (%)	31	29	10 ± 1 mm de penetración	
Fraguado Vicat (min.)	Inicial: 25 Final: 46	Inicial: 188 Final: 382	Inicial: No menos de 45 min. Final: No más de 7 horas	
Peso Especifico (g/cm ³)	3.0	3.1	No especifica	
Contenido de Aire en mortero (%)	3.9	7.1	Máximo 12.0	
Resistencia a la compresión kg/cm ²	3 días	19.4	82.3	Mínimo 133 Kg/cm ²
	7 días	29.3	188.1	Mínimo 204 Kg/cm ²
	28 días	44.00	212.7	Mínimo 255 Kg/cm ²
Contracción de secado (%)	*	*	No especifica	

* No fue posible evaluar.



3.2 Mortero de albañilería

Parámetro	Resultado	Especificaciones ASTM C-270
Retención de Agua (%)	69.0	75 % mínima
Contenido de Aire (%)	11.0	21 % máximo
Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	157.0	Mínimo 175 Kg/cm^2 a 28 días

3.3 Mortero de revestimiento

Parámetro	Resultado	Especificaciones ASTM C-270
Retención de Agua (%)	*	75 % mínima
Contenido de Aire (%)	*	19 % máximo
Resistencia a la compresión a 28 días (Kg/cm^2)	18.2	Mínimo 175 Kg/cm^2
Resistencia a la tensión a 28 días (Kg/cm^2)	10.9	No especifica

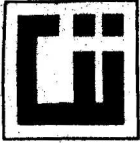
* No fue posible de evaluar

Atentamente:


Ing. Sergio V. Castañeda
Jefe Sección de Aglomerantes y Morteros


Vo.Bo. Ing. Cesar A. Garcia G.
Director CII/USAC



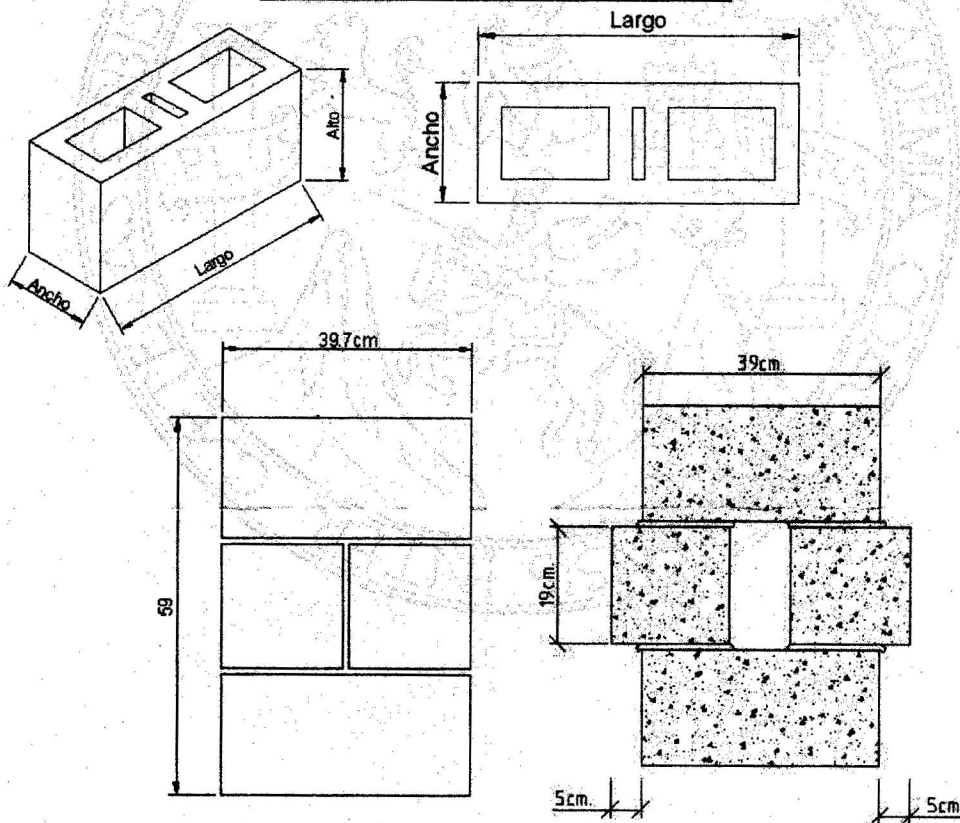


INTERESADO: KENNETH MOLINA ESCOBAR
ASUNTO: ENSAYOS DE MAMPOSTERIA
FECHA: MARZO DEL 2006

GENERALIDADES:

El interesado presento doce prismas de mampostería para ensayar de la siguiente manera: cuatro a compresión, tres a corte y cinco a fricción y adherencia, para ser ensayados en el laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

GENERALIDADES BLOCK



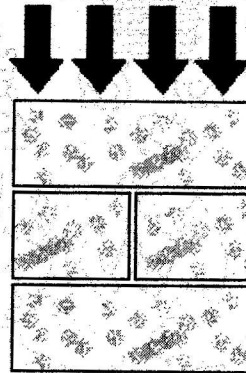


ENSAYO DE PRISMAS A COMPRESION

Procedimiento de ensayo:

Se coloca el prisma en el marco de carga debidamente nivelado verticalmente, para aplicarle carga vertical (de compresión) en su sección transversal. La carga se aplica gradualmente hasta observar el tipo de falla y la carga en la que ocurre hasta llegar al colapso. Los prismas se ensayan a 28 días de edad.

CARGA AXIAL



ENSAYO DE
COMPRESION

RESULTADOS:

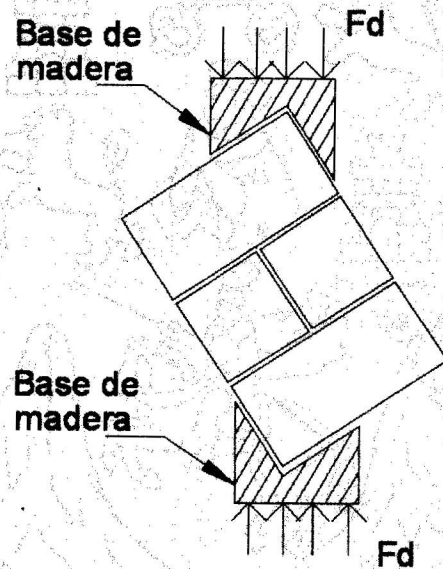
Ensayo de Compresión (28 días)	
Muestra	Resistencia Ultima (Kg)
1	20000
2	19000
3	17500
4	17000



ENSAYO DE PRISMAS A CORTE

Procedimiento de ensayo:

Se coloca el prisma en el marco de carga sobre una esquina formando una línea vertical con la esquina opuesta. La carga se aplica gradualmente en la esquina superior hasta observar el tipo de falla y la carga en la que ocurre hasta llegar al colapso. Los prismas se ensayan a 28 días de edad.



RESULTADOS:

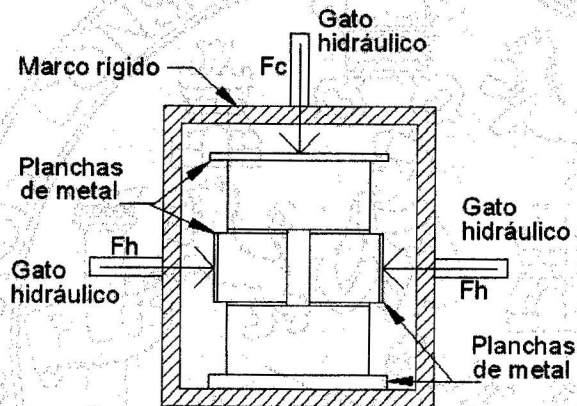
Ensayo de Corte	
Muestra	Resistencia Última (Kg)
1	12000
2	13500
3	13000



ENSAYO DE PRISMAS A FRICCIÓN Y ADHERENCIA:

Procedimiento de ensayo:

Se coloca el prisma dentro del marco de adherencia para aplicarle una carga vertical (confinamiento) y cargas laterales a los costados. La carga se aplica gradualmente aumentando el confinamiento y aplicando cargas laterales hasta que los elementos se desplacen, tomando lecturas de dichas cargas hasta llegar al colapso. Los prismas se ensayan a 28 días de edad.



RESULTADOS:

RESULTADOS DE PRISMAS A 28 DIAS DE EDAD

28 días		28 días	
Carga Lat. Kg	Confinamiento Kg	Carga Lat. Kg	Confinamiento Kg
Block #1		Block #2	
1305.60	334.50	1152	334.5
422.40	669.00	384	669
691.20	1003.50	614.4	1003.5
768.00	1338.00	729.6	1338
960.00	1605.60	806.40	1605.60
1228.80	1873.20	921.60	1873.20
		1075.20	2140.80
		1190.40	2408.40
		1305.60	2676.00

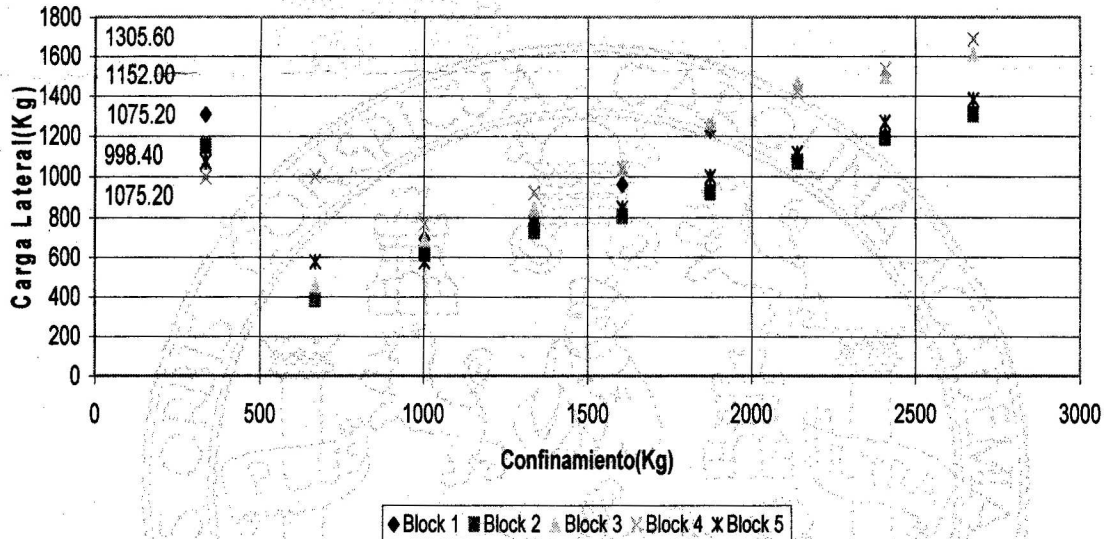


28 dias		28 dias	
Carga Lat. Kg	Confinamiento Kg	Carga Lat. Kg	Confinamiento Kg
Block #3		Block #4	
1075.20	334.50	998.40	334.50
460.80	669.00	998.40	669.00
691.20	1003.50	768.00	1003.50
844.80	1338.00	921.60	1338.00
1036.80	1605.60	1036.80	1605.60
1267.2	1873.2	1228.8	1873.2
1459.2	2140.8	1420.8	2140.8
1497.6	2408.4	1536	2408.4
1612.8	2676	1689.6	2676

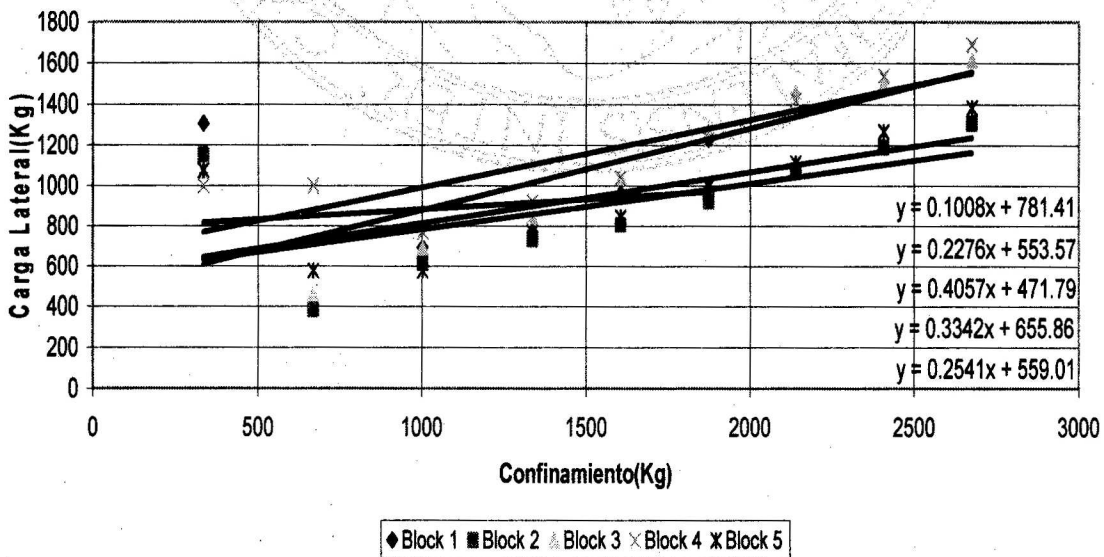
28 dias	
Carga Lat. Kg	Confinamiento Kg
Block #5	
1075.20	334.50
576.00	669.00
576.00	1003.50
768.00	1338.00
844.80	1605.60
998.4	1873.2
1113.6	2140.8
1267.2	2408.4
1382.4	2676



GRAFICA 28 DIAS ADHERENCIA
CONFINAMIENTO VRS. CARGA LATERAL



GRAFICA 28 DIAS FRICCION
CONFINAMIENTO VRS. CARGA LATERAL





ANALISIS DEL RESULTADOS:

- ✓ El esfuerzo último de los prismas ensayados a compresión, tomando el área bruta y el área neta a los 28 días es de:

Ensayo de Compresión (f'm)		
Muestra	Esfuerzo Ultimo (Kg/cm2) (AREA BRUTA)	Esfuerzo Ultimo (Kg/cm2) (AREA NETA)
1	25.00	52.11
2	23.75	49.50
3	21.88	45.59
4	21.25	44.29

- ✓ Las áreas transversales de los block son las siguientes:

Areas del Block	
Area Bruta (cm2)=	800
Area Neta (cm2)=	383.84

- ✓ Un prisma ensayado a corte equivale a un 70% de un sistema de un muro.
- ✓ El promedios de la resistencia última en los prismas ensayados a corte es de:
12833 kg.
- ✓ El área de contacto para los prismas ensayados a adherencia y fricción es de:
210 centímetros cuadrados.
- ✓ Los coeficientes de fricción de los prismas son los siguientes:

COEFICIENTES DE FRICCION								
Muestra	No. De Muestra					RESULTADOS		
	1	2	3	4	5	PROMEDIO	MEDIA	MEDIANA
28	0.10	0.22	0.41	0.33	0.25	0.262	0.237	0.250



INFORME TÉCNICO No. E-12

O. T. 18266
Página 8 de 8

✓ La fuerza de adherencia de los prismas son las siguientes:

FUERZA DE ADHERENCIA (Kg)								
Muestra	No. De Muestra					RESULTADOS		
	1	2	3	4	5	PROMEDIO	MEDIA	MEDIANA
28	1305.6	1152	1075.2	998.4	1075.2	1121.28	1116.63	1075.20

✓ Los esfuerzos de adherencia de los prismas son los siguientes:

ESFUERZO DE ADHERENCIA (Kg/cm ²)								
Muestra	No. De Muestra					RESULTADOS		
	1	2	3	4	5	PROMEDIO	MEDIA	MEDIANA
28	12.43	10.97	10.24	9.51	10.24	10.68	10.63	10.24


Ing. Mario Rodolfo Corzo
SECCION DE ESTRUCTURAS

Vo.Bo.


Ing. Cesar Alfonso Garcia Guerra.
DIRECTOR. CII USAC

